

УДК 524.1

СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ TUNKA-GRANDE

¹Н.М. Буднев, ¹А.Л. Иванова, ²Н.Н. Калмыков, ²Л.А. Кузьмичев, ²В.П. Сулаков, ²Ю.А. Фомин

TUNKA-GRANDE SCINTILLATION EXPERIMENT

¹N.M. Budnev, ¹A.L. Ivanova, ²N.N. Kalmykov, ²L.A. Kuzmichev, ²V.P. Sulakov, ²Yu.A. Fomin

Приведены описание и перспективы работы сцинтилляционной установки Tunka-Grande, входящей в состав строящейся в Тункинской долине гамма-обсерватории TAIGA. Представлен программный пакет, разработанный для моделирования регистрации и обработки событий установки сцинтилляционного комплекса.

The Tunka_Grande scintillator array, part of the TAIGA Gamma Ray Observatory now under construction in the Tunkinskaya Valley, is described. Software for simulation of recording and processing of events by the future scintillation part of the Tunka_133 detector is presented.

Введение

С 2009 г. исследование космических лучей в диапазоне энергий 10^{16} – 10^{18} эВ проводится на установке Тунка-133 [Berezhnev et al, 2012], расположенной в Тункинской долине (республика Бурятия) в 50 км от оз. Байкал. Установка регистрирует космические лучи по черенковскому свету, излучаемому в атмосфере заряженными частицами ШАЛ и состоит из 175 оптических детекторов, расположенных на площади 3 км². Включение сцинтилляционных детекторов в состав установки Тунка-133 позволит регистрировать не только черенковское излучение ШАЛ, но и его электронную и мюонную компоненты, и, следовательно, даст возможность получать качественно новые экспериментальные данные о космических лучах в области энергий 10^{16} – 10^{18} эВ. Сцинтилляционные детекторы могут вести круглосуточную регистрацию событий, что приведет к увеличению статистики, в том числе и в области энергий выше 10^{17} эВ. Появится возможность проведения абсолютной энергетической калибровки черенковской установки и улучшится точность восстановления ШАЛ, поскольку увеличится объем информации, получаемой из каждого отдельного события. Энергетический диапазон регистрации событий расширится в область сверхвысоких энергий.

Сцинтилляционный эксперимент Tunka-Grande

В 2013 г. в рамках научного проекта «Гамма-астрономия мультитераэВных энергий и происхождение Галактических космических лучей» в Тункинском астрофизическом центре коллективного пользования ИГУ началось развертывание сцинтилляционного комплекса Tunka-Grande [Berezhnev et al, 2013; Буднев и др., 2014], представляющего собой сеть станций на поверхности и под землей, предназначенных для регистрации заряженных частиц и мюонов ШАЛ. На начальном этапе сцинтилляционный комплекс Tunka-Grande будет использоваться для совместной работы с установкой Тунка-133, впоследствии он войдет в состав гамма-обсерватории TAIGA (Tunka Advanced Instrument for cosmic ray and Gamma Astronomy). Кроме него в состав гамма-обсерватории войдут еще четыре установки, основанные на детекторах различного типа. Это действующие черенковская установка Тунка-133 и радио-установка Tunka-REX [Budnev et al, 2014], строящаяся на основе быстрых сверхчувствительных

оптических детекторов установка Тунка-HiSCORE [Pluczykont et al, 2012a, b] и проектируемая сеть атмосферных черенковских телескопов [Berezhnev et al, 2013].

В итоговой конфигурации сцинтилляционный комплекс будет содержать 19 сцинтилляционных станций, размещенных на территории черенковской установки Тунка-133 в круге с радиусом ~400 м. Общая площадь сцинтилляционной установки составит около 0.5 км².

Каждая станция Tunka-Grande включает в себя наземный детектор электронов, состоящий из 12 сцинтилляционных счетчиков, ранее работавших в составе установке KASCADE-Grande, общей площадью 8 м², и подземный детектор мюонов общей площадью 5 м², состоящий из 8 таких же счетчиков. Мюонный детектор расположен под слоем грунта 1.5 м в непосредственной близости от детектора электронов. Установлены сцинтилляционные детекторы электронов в специальных контейнерах на расстоянии не более 30 м от центров внутренних кластеров черенковской установки Тунка-133.

Летом 2013 г. был произведен первый запуск центрального наземного детектора электронов, полностью закончены работы по установке остальных наземных детекторов электронов, подготовлена часть специально оборудованных подвалов для размещения подземных мюонных детекторов. В настоящее время работает 7 станций наблюдения из внутренней части Tunka-Grande площадью 0.2 км². В остальных станциях полностью подготовлены к запуску наземные детекторы электронов и продолжают работы по установке и подключению подземных мюонных детекторов.

Для оценки эффективности работы будущего сцинтилляционного комплекса и расчета его основных характеристик было разработано программное обеспечение, позволяющее моделировать работу установки и обрабатывать «зарегистрированные» события. Розыгрыш и восстановление событий проводились на основе анализа искусственных ливней, рассчитанных с использованием программного пакета Aires [http://www.fisica.inpl.edu.ar/auger/aires/doc/UsersManual.pdf]. Сцинтилляционная установка позволит вести эффективную регистрацию событий ШАЛ (вероятность регистрации равна 90 %) на площади 0.5 км² начиная с энергии $E_0=8 \cdot 10^{15}$ эВ, энергетический порог 95 %-й эффективной реги-

страции событий ШАЛ составит для Tunka-Grande около 10^{16} эВ. Энергетическое разрешение установки в случае использования разработанного метода обработки событий, основанного на анализе результатов расчета программы Aires, при $E_0 \geq 10^{15}$ эВ составляет 18 %, а при $E_0 \geq 10^{16}$ эВ – в пределах 15 %. Абсолютная ошибка в определении положения оси ШАЛ не превышает 17 м для энергии пороговой регистрации установки 10^{16} эВ и снижается до 5 м при энергии 10^{17} эВ. Начиная с энергий 10^{16} эВ, полное число электронов восстанавливается с точностью не хуже 10 %, полное число мюонов – 25 %. Программа обработки смоделированных событий позволяет восстанавливать степенной энергетический спектр первичных космических лучей, показатель степени которого соответствует заложенной в программу моделирования величине. Результаты проведенной работы, подробно представленные в [Буднев и др., 2014], позволяют сказать, что разработанное программное обеспечение восстанавливает параметры ШАЛ с точностью, достаточной чтобы использовать его для анализа реальных экспериментальных данных, полученных на сцинтилляционной установке в Тункинской долине.

Несмотря на то, что в силу обстоятельств, пока проведена лишь грубая калибровка работающих станций Tunka-Grande, получаемая с них первая экспериментальная информация чрезвычайно важна. Ее наличие дает возможность настроить программу восстановления событий на прием реальных экспериментальных данных и провести тестирование ее работы, сравнивая результаты восстановления с восстановленными данными черенковских детекторов установки Тунка-133.

Заключение

Работая совместно, детекторы различных типов дадут возможность регистрировать максимально возможное количество составляющих ШАЛ, что позволит получить принципиально новые данные о космических частицах высоких и сверхвысоких энергий.

В настоящем докладе представлено программное обеспечение, разработанное для моделирования работы сцинтилляционной установки Tunka-Grande и восстановления экспериментальных данных, приведены результаты расчета основных характеристик установки.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 15-02-10005, 14-02-00372 и 13-02-00214), гранта Правительства Российской Федерации (договор 14.B25.31.0010), Программы стратегического развития ИГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буднев Н.М., Иванова А.Л., Калмыков Н.Н. и др. // Вестник Московского университета. Серия 3. Физика. Астрономия. 2014. № 4. С. 80.
- Berezhnev S.F., Besson D., Korobchenko A.V., et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2012. V. 692. P. 98.
- Berezhnev S.F., Besson D., Budnev N., Ivanova A., et al. // Proc. 33th ICRC, Rio de Janeiro, Brazil 2013. 0418.
- Budnev N.M., Kostunin D., Gress O.A., et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2014. V. 742. P. 89.
- Gluczykont M. et al. // AIP Conf. Proc. 2012a. V. 1505. P. 821.
- Gluczykont M. et al. // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2012b. V. 692. P. 246.
- <http://www.fisica.inpl.edu.ar/auger/aires/doc/UsersManual.pdf>.

¹Научно-исследовательский институт прикладной физики ИГУ, Иркутск, Россия

²Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ, Москва, Россия